



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

## ON-LINE DIAGNOSTICKÉ MONITOROVACÍ SYSTÉMY VIBRACÍ STROJŮ

ON-LINE DIAGNOSTIC MONITORING SYSTEMS FOR VIBRATION OF MACHINES

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Iva Cirhanová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.

BRNO 2019



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Studentka: **Iva Cirhanová**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **On–line diagnostické monitorovací systémy vibrací strojů**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Pro posouzení stavu strojů je důležitá technická diagnostika. V technické praxi existuje několik využívaných diagnostických metod a přístupů. Bakalářská práce je zaměřena na zpracování rešerše o on–line diagnostických monitorovacích systémech vibrací strojů.

### **Cíle bakalářské práce:**

Pojednejte obecně o technické diagnostice strojů a využitelných diagnostických metodách k posouzení jejich stavu.

Zaměřte se na on–line diagnostické monitorovací systémy vibrací strojů a proveďte rešerši v této oblasti.

Jednotlivé on–line diagnostické monitorovací systémy vibrací strojů popište z hlediska parametrů a možností jejich využití v technické praxi.

Popisované systémy porovnejte, zaměřte se na jejich výhody a nevýhody a i ekonomické hledisko.

Výsledky bakalářské práce rozeberte z hlediska využití v průmyslové praxi.

### **Seznam doporučené literatury:**

KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu. Praha: BEN – technická literatura, 2006. Senzory neelektrických veličin. 406 s. ISBN 80-730-0158-6.

ČSN ISO 17359. Monitorování stavu a diagnostika strojů - Obecné pokyny. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

BILOŠ, Jan a Alena BILOŠOVÁ. Aplikovaný mechanik jako součást týmů konstruktérů a vývojářů: studijní opora. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2012. 142 s. ISBN 978-80-248-2755-1.

HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. Technická diagnostika a spolehlivost II. Vibrodiagnostika. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004. 178 s. ISBN 80-248-0650-9.

ČSN 20 0065. Obráběcí stroje na kovy. Metody měření a hodnocení mechanického kmitání. Mezní hodnoty kmitání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1992.

ČSN ISO 20816-1. Vibrace - Měření a hodnocení vibračních strojů - Část 1: Obecné pokyny. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.

ČSN ISO 10816-1. Vibrace - Hodnocení vibračních strojů na základě měření na nerotujících částech - Část 1: Všeobecné směrnice. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1998.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce pojednává o diagnostických monitorovacích systémech vibrací strojů. Nejprve je obecně popsána technická diagnostika se zaměřením na diagnostické metody, prostředky a diagnostické systémy. Zvláštní pozornost je věnována vibrodiagnostice a termodiagnostice. V další části práce jsou uvedeny on-line diagnostické monitorovací systémy, jejich parametry a využití v technické praxi. Důraz je kladen na systémy od firmy SKF, ADASH a ifm electronic. Jednotlivé systémy jsou porovnány a je stručně uvedeno i ekonomické hledisko. V bakalářské práci je provedeno také zhodnocení.

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with diagnostic monitoring systems of machine vibration. First of all, a technical diagnosis with a focus on diagnostic methods, means and diagnostic systems is generally described. Special attention is paid to vibrodiagnostics and termodiagnosics. In the next part of the thesis there are on-line diagnostic monitoring systems, their parameters and their use in technical practice. Emphasis is placed on systems from SKF, ADASH and ifm electronic. The systems are compared and the economic aspect is briefly outlined. In the bachelor thesis is also evaluated.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Diagnostické monitorovací systémy, on-line systémy, technická diagnostika, vibrodiagnostika, termodiagnostika, diagnostické metody, prostředky a systémy

## **KEYWORDS**

Diagnostic monitoring systems, on-line systems, technical diagnostics, vibrodiagnostics, thermodiagnosics, diagnostic methods, means and systems



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

CIRHANOVÁ, I. *On-line diagnostické monitorovací systémy vibrační strojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 41 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miloš Hammer, CSc..





## **PODĚKOVÁNÍ**

Mé poděkování patří panu doc. Ing. Miloši Hammerovi, CSc. za odborné vedení, cenné a přínosné rady a za trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu celého zpracování bakalářské práce věnoval.

Taktéž bych ráda poděkovala nejen své rodině a svým blízkým, ale především svým kolegům za jejich podporu během společného studia.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miloše Hammera, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. 05. 2019

.....

Cirhanová Iva



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA .....</b>	<b>17</b>
2.1	Diagnostické metody .....	17
2.2	Diagnostické prostředky .....	17
2.3	Diagnostické systémy .....	18
2.4	Vibrodiagnostika a termodiagnostika .....	18
2.4.1	Vibrodiagnostika .....	18
2.4.2	Termodiagnostika .....	22
<b>3</b>	<b>ON-LINE DIAGNOSTICKÉ MONITOROVACÍ SYSTÉMY, JEJICH PARAMETRY A VYUŽITÍ V TECHNICKÉ PRAXI .....</b>	<b>25</b>
3.1	On-line diagnostika .....	25
3.2	On-line diagnostické monitorovací systémy .....	25
	Systémy od firmy SKF .....	25
	Systémy od firmy ADASH .....	25
	Systémy od firmy ifm electronic .....	25
3.3	Monitorovací systémy od firmy SKF .....	26
3.3.1	On-line systém SKF Multilog IMx-C .....	26
3.3.2	On-line systém SKF Multilog IMx-S .....	26
3.3.3	On-line systém SKF Multilog IMx-W .....	26
3.3.4	On-line systém SKF Multilog IMx-8 .....	27
3.4	Monitorovací systémy od firmy ADASH .....	29
3.4.1	A3716 – šestnácti kanálový systém .....	29
3.4.2	A3800 – čtyř až šestnácti kanálový systém .....	29
3.4.3	A3900-II – jednokanálový systém .....	30
3.5	Monitorovací systémy od firmy ifm electronic .....	31
3.5.1	Vyhodnocovací jednotky VSE002 a VSE100 .....	31
3.5.2	Vyhodnocovací jednotky VSE150, VSE151, VSE153 .....	31
<b>4</b>	<b>POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH SYSTÉMŮ A EKONOMICKÉ HLEDISKO .....</b>	<b>33</b>
4.1	SKF – Multilog IMx-8 .....	33
4.2	ADASH – A3716 .....	33
4.3	ifm electronic – VSE100 .....	33
<b>5</b>	<b>ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>41</b>



# 1 ÚVOD

V současné technické praxi se používá velké množství strojů a zařízení. Pro zajištění kvality jejich provozu je důležitá spolehlivost těchto zařízení. V rámci spolehlivosti je třeba řešit i jejich diagnostikovatelnost a údržbu. Na významu tedy nabývá technická diagnostika, která prošla značným vývojem a v současné době je to již samostatná vědní disciplína. Podle diagnostické veličiny existuje několik diagnostických metod, jedna z nich je vibrodiagnostika a termodiagnostika.

Výše uvedené se v prvních etapách vývoje soustřeďovalo na rozvoj off-line metod. Tedy provádělo se měření různých parametrů při vyřazení stroje z provozu anebo v případě vibrodiagnostiky i termodiagnostiky za provozu. Používali se off-line diagnostické prostředky různé úrovně. V současné době se rozvíjí iniciativa Průmysl 4.0, kde technická diagnostika a údržba je na prvních místech. V této souvislosti se začíná rozvíjet i použití on-line diagnostiky. Toto je právě typické pro vibrodiagnostiku a termodiagnostiku. V průmyslové praxi se začíná objevovat značné množství diagnostických monitorovacích systémů.

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na řešení právě v oblasti on-line diagnostických monitorovacích systémů, a to vibrací strojů.





## 2 TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

Technická diagnostika je název odvozený z řečtiny, který lze přeložit jako „určení skrze poznání“. Toto pojmenování se využívá pro označení bezdemontážních a nedestruktivních metod a prostředků používaných k získávání objektivních informací o provozním stavu objektu. [1] [2]

Primární cíl technické diagnostiky je využití všech informací o stavu diagnostikovaného objektu, který pracuje za běžných podmínek, získaných pomocí diagnózy, prognózy a geneze a předejít možným poruchám, popřípadě haváriím. [1] [2]

Diagnostika, jako taková, má za úkol podporovat bezpečnost, spolehlivost a efektivitu provozu stroje a také podpořit prodloužení jeho technického života. [3]

Technická diagnostika je také nezbytná pro plánování a řízení údržby jako součásti systému řízení výroby. Skutečný stav zařízení se dá poměrně rychle odhalit za použití jedné nebo více diagnostických metod. [3]

### 2.1 Diagnostické metody

„Diagnostická metoda je způsob měření a vyhodnocení naměřených údajů za účelem stanovení technického stavu diagnostikovaného objektu.“ [3]

Diagnostické metody se dají rozdělit na subjektivní, které jsou založené na individuálním vnímání provozních projevů diagnostikovaného objektu a schopnosti rozpoznat odchylky od normálního stavu, a na objektivní, což jsou metody založené na přesném měření jednotlivých fyzikálních veličin. Tyto veličiny jsou vnímány jako ukazatele technického stavu diagnostikovaného objektu. [3]

Podle diagnostických veličin se ke stanovení skutečného stavu objektu využívají tyto metody – diagnostiky: [4]

- Diagnostika deformace
- Diagnostika tlaku
- Diagnostika teploty
- Diagnostika výšky hladiny
- Diagnostika množství tepla
- Diagnostika průtoku
- Diagnostika koncentrace
- Vibrodiagnostika
- Hluková diagnostika
- Defektoskopie
- Elektrodiagnostika
- Tribodiagnostika
- Multiparametrická diagnostika

### 2.2 Diagnostické prostředky

Pro analýzu a vyhodnocování stavu diagnostikovaného objektu slouží tzv. diagnostické prostředky, což jsou vlastně soubory technických zařízení. Pracovním postupem je pak myšlen

souhrn jednotlivých úkonů diagnostikování zahrnující programové vybavení pro vyhodnocování dat, aplikace pokročilých metod zpracování signálů, metody výběru vhodných diagnostických parametrů nebo například sestavení matematických modelů. [5]

Diagnostické prostředky je možné rozdělit do dvou skupin – on-line a off-line. Při použití on-line prostředků probíhá diagnostika objektu většinou při jeho provozu. Do této skupiny spadá tzv. monitorování neboli „průběžné či pravidelné sledování technického stavu objektu a vyhodnocování trendu vad nebo mezních bezpečnostních stavů, při kterých je nutno objekt z provozu odstavit.“ [5] O monitorování jde tehdy, je-li měřicí systém trvale nebo opakovaně připojen k diagnostikovanému objektu. Použití off-line prostředků obvykle znamená, že se diagnostika provádí u objektu, který je většinou mimo provoz nebo u některých metod i za plného provozu. Každá firma ale off-line prostředky může vnímat jinak. Některé například využívají malé přenosné přístroje, které sbírají data. Podrobná analýza naměřených dat se pak provádí s časovým odstupem a na externím pracovišti. [5]

## 2.3 Diagnostické systémy

Diagnostické systémy zahrnují diagnostické prostředky (technická zařízení, počítačové programy určené ke stanovení diagnózy), jejich obsluhu (většinou diagnostik), diagnostické metody (metodika) a objekt (např. stroj), který je sledován. Tyto systémy se skládají nejen z čidel (jiný název snímače, senzoru), které snímají určitou fyzikální veličinu, měřicího řetězce a zobrazovače naměřených hodnot, ale mohou fungovat i jako podpůrný prostředek používaný jinými systémy či procesy při provozu a správě technologických zařízení. Veškeré naměřené údaje procházejí diagnostickými testy, které je zpracovávají a poté vyvozují diagnostické závěry (prognózy a diagnózy). [6]

## 2.4 Vibrodiagnostika a termodiagnostika

### 2.4.1 Vibrodiagnostika

Vibrodiagnostika, nebo taky vibrační diagnostika, je nejvíce využívaná metoda sledování technického stavu rotačních strojů. Jde o bezdemontážní diagnostiku vykonávanou při práci stroje, která je založená na hodnocení mechanického kmitání. Toto kmitání se měří na pohyblivých i nepohyblivých částech diagnostikovaného stroje. Kmitání (vibrace), souvisí u rotujících strojů s dynamickým namáháním stroje. To znamená, že je úzce spjato se stavem ložisek, převodovek, nevyvahou, nesouosostí, různými trhlinami nebo opotřebením. [3] [7]

A co jsou to vlastně vibrace? Mechanické kmitání neboli vibrace (podle normy ČSN ISO 2041 „Vibrace a rázy – Slovník“) je dynamický jev, při kterém dochází k vratnému pohybu hmotného bodu (nebo tuhého tělesa) kolem jeho rovnovážné polohy. K vyvolání vibrací je vždy zapotřebí, aby na těleso působila nějaká budící síla, buďto vnější nebo vnitřní. Abychom mohli vibrace popsat, je potřeba znát amplitudu a fázi v daném časovém okamžiku. [5]

I kmitání má samozřejmě několik typů. Nejjednodušším kmitáním je kmitání harmonické, u kterého má závislost výchylky na čase sinusový průběh. To znamená, že se po určité (stejně dlouhé) době pravidelně opakuje stejný časový průběh. Této době se říká perioda neboli doba trvání jednoho kmitu. Značí se velkým písmenem  $T$  a její jednotkou je sekunda [s]. S periodou také souvisí frekvence  $f$  [Hz], což je počet kmitů za periodu. Tyto dvě veličiny jsou si navzájem převrácenými hodnotami, které popisuje rovnice (1): [7]

$$T = \frac{1}{f} \quad (1)$$

Harmonické kmitání lze také popsat tzv. kinematickými veličinami, do kterých spadá okamžitá výchylka  $x$  [m] (2), rychlost  $v$  [m/s] (3) a zrychlení  $a$  [m/s<sup>2</sup>] (4). Všechny tyto veličiny se mění v čase  $t$  [s] a popisují je následující rovnice: [8]

$$x(t) = X_{max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (2)$$

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = X_{max} \cdot \omega \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (3)$$

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = -X_{max} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (4)$$

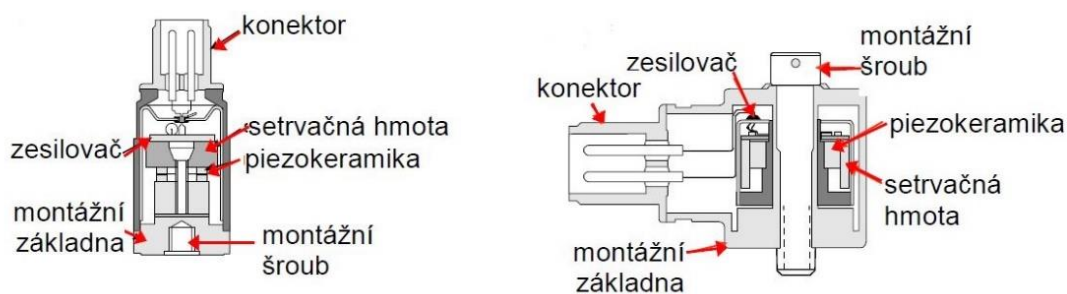
Veličina  $\varphi_0$ , použitá v rovnicích, označuje počáteční fázi, což je fáze v čase  $t = 0$  [s].  $X_{max}$  [m] je pak maximální výchylka z rovnovážného stavu, jinak označovaná jako amplituda výchylky. [8]

U vibrací strojů se v praxi nejčastěji vyskytuje kombinace složených vibrací (vibrace dané superpozicí různých časových průběhů) spolu s vibracemi náhodnými, tzv. šumem, který při následném zpracování vibrodiagnostických signálů často překrývá signál obsahující podstatné informace. [5]

Při využívání vibrační diagnostiky je snímáno a vyhodnocováno několik signálů, které určitým způsobem charakterizují chvění stroje. K těmto účelům slouží speciální zařízení nazývané senzory (snímače) vibrací. Ve své podstatě lze senzory vibrací rozdělit na dvě základní skupiny. První skupinou jsou tzv. seismická zařízení nebo také senzory absolutních vibrací, které se připevňují na konstrukci stroje a u kterých je pohyb prvku vztahován k pevnému bodu v gravitačním poli Země. Zástupcem seismických snímačů je např. snímač zrychlení (akcelerometr) nebo snímač rychlosti. Druhou skupinou jsou snímače relativní výchylky, které snímají a vyhodnocují danou veličinu vůči jiné části stroje. Správný výběr odpovídajících snímačů je závislý na měřené veličině (výchylka, rychlost, zrychlení) vibrací. Také záleží na tom, zda chceme měřit absolutní či relativní vibrace nebo zda provádíme měření nízkofrekvenčních či běžných frekvenčních vibrací. [5] [7]

## SNÍMAČE ZRYCHLENÍ (AKCELEROMETRY)

Akcelerometry jsou nejrozšířenější snímače pro monitorování stavu vibrací montující se na nerotující části strojů. Jsou to zařízení generující výstupní signál, který je úměrný mechanickému vibračnímu zrychlení měřeného tělesa. Integrací signálu získaného pomocí akcelerometru je možné zjistit i rychlost nebo výchylku (pro tyto účely se vyrábějí akcelerometry se zabudovaným integračním čidlem). Akcelerometry obvykle obsahují jeden nebo několik piezoelektrických krystalových elementů (destiček, krystalů), při jejichž deformaci vzniká elektrický náboj. Velikost tohoto náboje je přímo úměrná působící síle a deformaci vzniklé na piezoelektrických destičkách (krystalech). Podle umístění piezoelektrického krystalu rozeznáváme dva druhy akcelerometrů – tlakový a smykový (Obr.1). [7] [9]



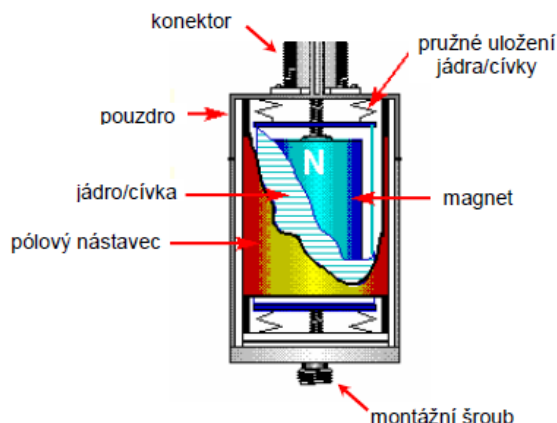
Obr. 1) Tlakový (vlevo) a smykový (vpravo) akcelerometr [9]

Při umísťování akcelerometru na určený stroj je nutné dbát na to, aby na piezoelektrický krystal ve snímači nepůsobilo žádné jiné namáhání než to od vibrací. Místo, na které je snímač připevňován proto musí být hladké a ploché, aby nedošlo k deformaci montážní základny daného akcelerometru. Nevhodným upevněním je možné omezit použitelný frekvenční rozsah snímače nebo naměřená data zcela znehodnotit. V normě ČSN ISO 5348 jsou podrobně popsány způsoby, kterými je možné akcelerometry uchytit. Mezi tyto způsoby patří např.:

- upevnění šroubem – považováno za nejspolehlivější upevnění, při kterém dochází k minimálnímu snížení použitelného frekvenčního rozsahu; při použití šroubu musí celá plocha montážní základny dosedat na předem očištěnou a rovnou plochu stroje; důležité je také zvolit správný typ závitu, protože tyto snímače mívají často jiný typ závitu než metrický
- upevnění magnetem – poměrně častý a rychlý způsob upevnění pro běžná provozní měření do frekvenčního rozsahu zhruba 2 kHz; magnety používané k upevnění akcelerometrů jsou ze vzácných zemin a jsou silnější než běžné magnety
- upevnění lepidlem – při použití lepidla se na stroj nelepí přímo snímač, aby při demontáži nedošlo k jeho poškození, ale podložky se závitem pro šroub [9]

## SNÍMAČE RYCHLOSTI

Snímače rychlosti (Obr. 2) vibrací jsou zařízení generující napěťový signál, který je úměrný mechanické vibrační rychlosti měřeného tělesa. Obecně platí, že se tato zařízení montují na nerotující (stacionární) konstrukce strojů. Typické snímače rychlosti vibrací obsahují dvě hlavní části. Cívku, která vlivem své setrvačnosti zůstává v klidu a permanentní magnet spojený s pouzdrem snímače, který vlivem vibrací kmitá. Snímače rychlosti jsou náchylné na otřesy a mají poměrně křehkou konstrukci, proto jsou používány pouze jako trvale připevněná zařízení. Snímače rychlosti vibrací produkují výstup, který lze integrovat na výchylku vibrací. [7] [9]

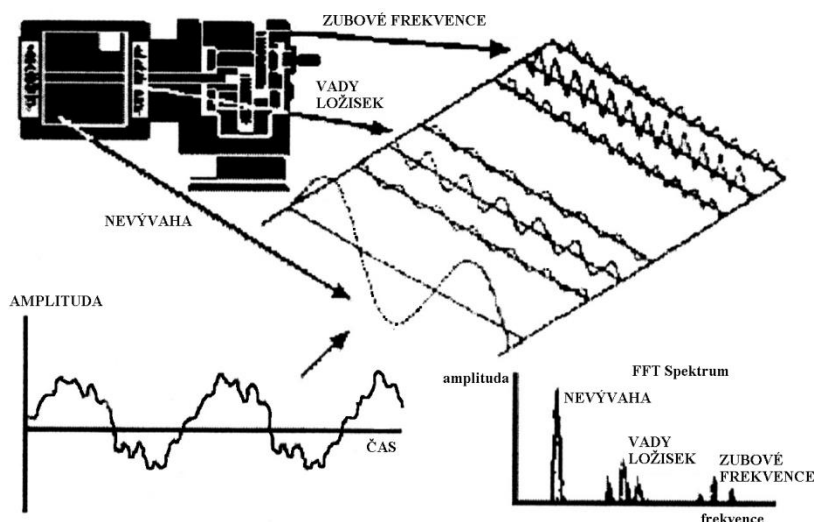


Obr. 2) Snímač rychlosti [9]

Jak je již zmíněno výše, při měření vibrací také rozhoduje, jak jsou jednotlivé snímače upevněny. Způsob uchycení je nejvýraznější činitel, který ovlivňuje frekvenční odezvu snímače (především u měření na vysokých frekvencích). Doporučený způsob uchycení snímačů je závislý na přístupnosti, vhodnosti a také na ekonomické a technické úvaze. Touto problematikou se zabývá již zmíněná norma ČSN ISO 5348. [7]

Vlastní umístění snímačů pak závisí především na daném objektu a na tom, jaké vibrodiagnostické parametry chceme měřit. Existují však určitá obecná doporučení, kam snímače umístit, např. umístění snímačů na ložiska nebo blízko nich; umístění snímačů tak, aby cesta šíření signálu byla co nejkratší; umístění snímače tak, aby jeho osa směřovala na osu maximálního zatížení nebo ležela v oblasti zatížení. [7]

Hlavním nástrojem pro vyhodnocování je ve vibrodiagnostice frekvenční analýza, konkrétně frekvenční analýza pomocí FFT (Fast Fourier Transformation) – rychlá Fourierova transformace (Obr. 3). Zjednodušeně lze říci, že FFT rozkládá signál na určité amplitudy, které odpovídají frekvenčním budícím složkám. [7]

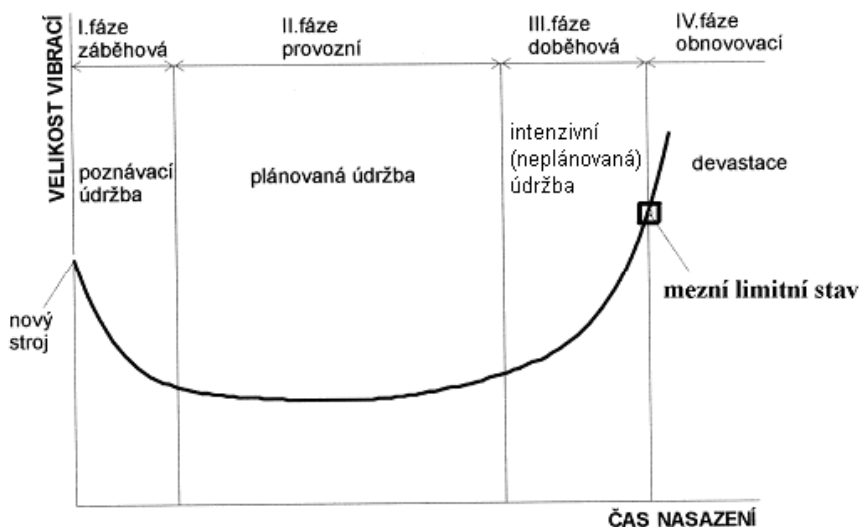


Obr. 3) Princip FFT [7]

Základní a nejběžnější analytickou metodou je právě frekvenční analýza vibračních signálů pomocí FFT. Tato analýza pracuje na principu hledání periodických dějů, které potom v daném souřadném systému zobrazí. Pro tyto účely existují dva typy souřadných systémů.

Systém amplituda (osa y)-frekvence (osa x) a systém amplituda (osa y)-čas (osa x). Zobrazení v souřadnicích amplituda-frekvence se nazývá frekvenční spektrum a zobrazení v souřadnicích amplituda-čas se nazývá časový průběh. [7]

Často používaným grafickým znázorněním vibrací na době života objektu je tzv. vanová křivka (Obr. 4). Z této jsou patrné jednotlivé fáze času nasazení, dále také mezní limitní stav a jednotlivé typy údržby – v tomto případě poznávací, plánovaná, neplánovaná. Názvy údržby jsou uvedeny dle literatury [7], v normě [10] se používají pro údržbu názvy upřesněné.



Obr. 4) Časový průběh vibrací – vanová křivka [7]

Díky vývoji v tzv. doběhové fázi vanové křivky jsme schopni velice přibližně určit zbytkovou životnost (čas do nutné opravy) stroje. To znamená, že se provádí dopočítání (regrese) průběhu trendu do dané limitní hodnoty. Tímto se může získat důležitý údaj pro plánování a řízení údržby. [7]

## 2.4.2 Termodiagnostika

Termodiagnostika je jednou z nedestruktivních metod technické diagnostiky. Tato metoda je pro naše účely založená především na zobrazování a vyhodnocování teplotních polí povrchu diagnostikovaného objektu. Za pomoci teploty odečtené z diagnostického prostředku-termokamery se vytvoří obraz (termogram), který vypovídá o povrchovém rozložení teplot. [3]

V praxi je možné měření teploty rozdělit na dva způsoby – dotykové (kontaktní), při kterém se musí senzor dotýkat objektu, jehož teplota má být změřena, a bezdotykové (bezkontaktní), při kterém je senzor v určité vzdálenosti od měřeného objektu. [13]

U kontaktního měření se využívá přenosu tepla mezi dvěma objekty a provádí se tzv. teploměry. Tyto teploměry se pak rozdělují podle fyzikálního principu funkce na teploměry dilatační, parní, odporové, polovodičové, termoelektrické, optovláknové a speciální. Nejznámější skupinou pro kontaktní měření jsou právě dilatační skleněné teploměry, jejichž podstatou je teplotní roztažnost pevných látek, kapalin a plynů. Konkrétně u skleněných teploměrů je to objemová roztažnost kapaliny umístěné v kapiláře, jejíž hladina s rostoucí teplotou stoupá na určitou hodnotu teplotní stupnice. Vedle dilatačních teploměrů existují ještě např. teploměry odporové, které pracují na principu teplotní závislosti odporu kovu. To znamená, že s rostoucí teplotou, roste i odpor. [11] [12]

Podstatou při bezkontaktním měření teploty je, že každý objekt s teplotou vyšší, než je absolutní nula, vyzařuje elektromagnetické záření v určité části spektra. Toto záření je přijímáno detektorem (senzorem) záření, jehož elektrický signál je zpracován v elektronických obvodech. Výstupem pak bývá údaj na displeji (číselně vyjádřená hodnota teploty na pyrometru) nebo termogram na monitoru termokamery. [11] [13]

Jak už z poslední věty předchozího odstavce vyplývá, pro bezkontaktní měření teploty existují dva základní typy přístrojů.

Prvním z nich jsou pyrometry, což jsou infračervené teploměry, které měří teplotu na konkrétním místě. Dělí se na širokopásmové (k detekci využívají tepelné senzory – např. baterie termočlánků) a úzkopásmové (k detekci využívají kvantové detektory). Širokopásmové pyrometry pracují na principu Stefan-Bolzmannova zákona upraveného pro reálná (šedá) tělesa (5),

$$M = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (5)$$

kde  $M$  je intenzita vyzařování,  $\varepsilon$  je emisivita,  $\sigma$  je Stefanova-Bolzmannova konstanta ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ [Wm}^{-2}\text{K}^{-4}\text{]}$ ) a  $T$  je termodynamická teplota. Pro výstupní signál teploměru platí vztah (6),

$$U(T) = K \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_{ok}^4) \quad (6)$$

kde  $K$  je přístrojová konstanta a  $T_{ok}$  teplota okolí detektoru. Teplota u úzkopásmových pyrometrů se vyhodnocuje podle Planckova zákona pro šedá tělesa (7),

$$M_{T,\lambda} = \varepsilon_{T,\lambda} \cdot c_1 \cdot \lambda^{-5} \left[ \exp\left(\frac{c_2}{T\lambda} - 1\right) \right]^{-1} \quad (7)$$

kde  $c_1$  je první vyzařovací konstanta ( $c_1 = 3,74 \times 10^{-16} \text{ [Wm}^{-2}\text{]}$ ) a  $c_2$  je druhá vyzařovací konstanta ( $c_2 = 1,44 \times 10^{-2} \text{ [mK]}$ ). [12] [13]

Druhým typem přístrojů k bezdotykovému měření teploty jsou termokamery, které snímají a zobrazují celá teplotní pole na povrchu měřených těles. Termokamera však nezachycuje přímo teplotu měřeného objektu, ale přijímá dlouhovlnné infračervené záření, z něhož následně teplotu dopočítává. Při výpočtu jednotlivých teplot se bere ohled na stupeň emisivity ( $\varepsilon$ ) povrchu měřeného objektu, kompenzaci odražené teploty a v některých případech i na vzdálenost od měřeného objektu, relativní vlhkost vzduchu či na teplotu vzduchu. Veškeré hodnoty těchto veličin se zadávají přímo do termokamery nebo později do vyhodnocovacího softwaru. [3]





## 3 ON-LINE DIAGNOSTICKÉ MONITOROVACÍ SYSTÉMY, JEJICH PARAMETRY A VYUŽITÍ V TECHNICKÉ PRAXI

### 3.1 On-line diagnostika

On-line diagnostika je jeden z možných způsobů, jak provádět měření vibrací. Při on-line diagnostice se využívá permanentně nainstalované zařízení, které souvisle sleduje daný stroj. [14]

Hlavní výhodou on-line diagnostiky je již zmíněné nepřetržité sledování, díky kterému je možné zaznamenat náhlé zhoršení stavu a tím i plánovat zásah údržby. [14]

Veškeré on-line systémy monitorující stroje by měly splňovat dvě obecná kritéria, kterými jsou:

- možnost komunikace – to znamená, že každý systém by měl obsahovat komunikační rozhraní (např. protokol TCP/IP), díky kterému lze zařadit vyhodnocovací jednotku do sítě, nadřazených systémů, a která umožňuje vzdáleně spravovat nashromážděná data
- integrace do existujících systémů – to je možnost zařadit vyhodnocovací jednotku do již existujícího řídicího systému daného stroje; tato jednotka pak musí být schopna obousměrné komunikace, která je důležitá jak pro řízení dané vyhodnocovací jednotky, tak pro snadné posílání informací potřebných k vyhodnocení vibrací (např. aktuálního počtu otáček stroje) [14]

### 3.2 On-line diagnostické monitorovací systémy

V předkládané bakalářské práci na základě provedené rešerše literatury je pozornost věnována systémům od firm SKF, ADASH a ifm electronic. Dále jsou jednotlivé systémy rozebrány.

#### Systémy od firmy SKF

- Multilog IMx-C
- Multilog IMx-S
- Multilog IMx-W
- Multilog IMx-8

#### Systémy od firmy ADASH

- A3716
- A3800
- A3900-II

#### Systémy od firmy ifm electronic

- VSE002
- VSE100
- VSE150
- VSE151

- VSE153

### 3.3 Monitorovací systémy od firmy SKF

#### 3.3.1 On-line systém SKF Multilog IMx-C

On-line systém SKF Multilog IMx-C je měřicí jednotka určená do náročných průmyslových prostředí. Každá jednotka této řady je vybavena šestnácti vstupy analogového signálu, z nichž je každý konfigurovatelný pro různé druhy snímačů. Analogové vstupy mají samostatné 24 V napájení a výkon senzoru pro každý kanál je řízený přepínači DIP. [15]

Kromě analogových kanálů mohou být použity i kanály digitální sloužící k měření rychlosti nebo zobrazení stavu, který ukazuje právě probíhající měření. U jednotky Multilog IMx-C může být k jednomu kanálu připojeno několik měřících bodů, z nichž má každý stanovitelné poplachové a alarmové podmínky, které jsou řízené rychlostí či zatížením stroje. Na stejném kanále pak může probíhat i AC (střídavé) a DC (stejnoseměrné) měření. [16]

V jednotce Multilog IMx-C je zabudovaný hardware s automatickým diagnostickým systémem, který nepřetržitě kontroluje všechny senzory, elektroniku a kabeláž a zachycuje veškeré poruchy, přerušení signálu, selhání napájení či zkrat. [16]

#### 3.3.2 On-line systém SKF Multilog IMx-S

Systém SKF Multilog IMx-S je novější řada systémů poskytujících možnost včasné detekce a prevence poruch. Vyrábí se ve dvou provedeních – SKF Multilog IMx-S 16 (Obr. 5) a SKF Multilog IMx-S 32 (Obr. 5). Tyto dva modely se liší počtem vstupů analogového signálu. Jak již název napovídá, model Multilog IMx-S 16 má vstupů 16 a model IMx-S je vybaven 32 vstupy analogového signálu. [17]

Mezi klíčové vlastnosti této řady patří možnost skutečného současného měření všech kanálů s využitím šestnácti dynamických nebo stejnosměrných vstupů a osmi digitálních nebo rychlostních vstupů (model SKF Multilog IMx-S 16). U modelu SKF Multilog IMx-S 32 je to pak 32 dynamických nebo stejnosměrných a 16 digitálních nebo rychlostních vstupů. Další z klíčových vlastností je také přítomnost úložiště dat v energeticky nezávislé paměti a v poslední řadě také možnosti upevnění na stěnu. [17]



Obr. 5) SKF Multilog IMx-S 16 (nalevo) a SKF Multilog IMx-S 32 (napravo) [17]

#### 3.3.3 On-line systém SKF Multilog IMx-W

Další řadou systémů SKF Multilog je systém SKF Multilog IMx-W – silná měřicí jednotka určená k instalaci do větrných elektráren jak na pevnině, tak na moři.

Každý systém této řady je vybaven šestnácti vstupy analogového signálu, které jsou nastavitelné pro různé typy senzorů, např. standardní akcelerometry nebo bezdotykové sondy. Vedle kanálů analogového signálu, lze také využít dva kanály digitální. Ke každému lze pak připojit několik měřících bodů a měření střídavého (AC) a stejnosměrného (DC) proudu může probíhat na stejném kanále. [18]

Stejně jako předchozí řady, i tato poskytuje společně se softwarem SKF @ptitude Observer kompletní systém pro včasnou detekci a prevenci poruch, automatické sdělování stávajících nebo blížících se poruch a pokročilou údržbu založenou na nepřetržitém monitorování stavu daného objektu. Vlastnost, kterou má tento model oproti ostatním navíc, je ochrana před bleskem. [18]

### 3.3.4 On-line systém SKF Multilog IMx-8

On-line systém SKF Multilog IMx-8 (Obr. 6) je úplný systém, který umožňuje včasnou detekci závad, napomáhá omezit či úplně vyloučit neplánované odstávky, zvýšit pohotovost strojů a minimalizovat náklady na údržbu a opravy. Toto zařízení obsahující 8 analogových a 2 digitální kanály, je možné připojit k mobilním zařízením nebo přenosným počítačům a tím se připojit na SKF Cloud, kde je možné ukládat a sdílet data. Díky nasbíraným datům se pak vzdálenou diagnostikou SKF získávají odborné zprávy a doporučení. [19]

Analyzátor IMx-8 se pro delší ochranu v náročných průmyslových prostředích instaluje na DIN lištu a umísťuje do skříňky s krytím IP65 (Obr. 7). Lze ho také přepnout do autonomního režimu, ve kterém lze SKF Multilog IMx-8 používat bez připojení na centrální softwarový systém nebo externí datovou komunikaci. V tomto režimu jsou trvale měřena a ukládána data k pozdější analýze. [19]



Obr. 6) On-line systém SKF Multilog IMx-8 [19]



Obr. 7) Skříňka s krytím IP65 [19]



### 3.4 Monitorovací systémy od firmy ADASH

#### 3.4.1 A3716 – šestnácti kanálový systém

Monitorovací a diagnostický systém A3716, zobrazený na Obr. 8), je výkonný on-line systém zvyšující spolehlivost provozu strojů. Může být využit jako samostatný monitorovací systém nebo jako nadstavba nad již stávajícím ochranným systémem. Mimo jiné se také využívá jako výkonný vícekanálový analyzátor. Moduly A3716 se dají tzv. stavebnicově skládat a vytvářet tak mnohakanálové systémy. [20]

Na zadním panelu jednotky A3716 se nachází 16 AC vstupů (označených CH1 – CH16) pro měření signálu AC, které při zapojení snímače zrychlení měří vibrace a 16 DC vstupů (označených DC 1 - DC 16) pro měření signálu DC, sloužících k monitorování procesních veličin (např. teplota, tlak, průtok). Dále je na tomto panelu umístěno šestnáct výstupů proudových smyček 4-20 mA. Největší výhodou proudové smyčky je, že její přesnost nijak neovlivňuje pád napětí způsobený nesprávným zapojením. Smyčky použité v A3716 jsou izolovány od měřících obvodů a musí být externě napájeny. Vedle výstupů proudových smyček jsou pak umístěny i relé výstupy, kterých je také šestnáct. [21]

Na čelním panelu jsou pak umístěny bufferované výstupy, umožňující zapojení přenosných vibrodiagnostických přístrojů a provádění následné analýzy na zvoleném kanálu. Šestnáct kanálů této jednotky je rozděleno do skupin (označených písmeny A, B, C, D), z nichž každá obsahuje právě čtyři kanály měřené jednou Adash čtyř kanálovou měřicí deskou. [21]

Veškerá nastavení a správa online systému se provádí díky softwaru DDS, ve kterém se musí vytvořit schéma strojů, měřících bodů a požadovaných měření. Měření pak probíhá automaticky po stisku tlačítka START. [20]



Obr. 8) Diagnostický monitorovací systém A3716 [20]

#### 3.4.2 A3800 – čtyř až šestnácti kanálový systém

Tento kompaktní on-line monitorovací a diagnostický systém je díky jeho rozměrům možné umístit přímo na DIN lištu v rozvaděči. Jednotka A3800, zobrazená na Obr. 9), obsahuje 4, 8, 12 nebo 16 samostatných AC a DC vstupních kanálů, což znamená, že při čtyř kanálové konfiguraci je možné připojit 4 AC a DC kanály. Jednotlivé čtveřice kanálů jsou pak mezi sebou přepínány díky multiplexu. Podle počtu aktivních vstupních kanálů, který lze rozšířit dodatečným dokoupením doplňující licence, je potom možné využít 1-4 nezávislé TACHO vstupy. [22]

Stejně jako u předchozího systému, i u A3800 probíhá veškerá správa a nastavení v softwaru DDS. Novinkou je ale adaptivní inteligentní systém sběru dat, který byl vyvinut právě v jednotkách A3800. V porovnání se staršími systémy probíhá u tohoto veškeré měření spojitě a nepřerušovaně a adaptivní algoritmus ukládá měření do databáze. [23]



Obr. 9) Kompaktní on-line monitorovací systém A3800 [22]

### 3.4.3 A3900-II – jednokanálový systém

Modul A3900-II (Obr. 10) je jednoduchý prostředek k on-line měření vibrací strojů, uplatňující se především při on-line monitorování stavů točivých strojů, např. malé turbíny, motory, ventilátory, čerpadla nebo převodovky. [24]

Tato jednotka obsahuje třímístný sedmi segmentový displej umístěný na čelním panelu, na kterém se průběžně zobrazují hodnoty měřených veličin, popřípadě se na něm vypisují chybová hlášení. Na čelním panelu se pak nacházejí i všechny ostatní LED indikátory, které signalizují stav jednotky. [25]

Adash 3900-II obsahuje dva výstupy – proudovou smyčku 4-20 mA sloužící jako výstup měřené hodnoty, a přepínací kontakt relé, který signalizuje překročení nastavené limitní hodnoty (ALARM). Limitní hodnoty (ALERT a ALARM), měřící rozsah proudové smyčky a další nastavitelné parametry se přes sériové rozhraní RS232 konfigurují v programu Hyper Terminal. Pokud dojde k překročení nastavené hodnoty ALARM, relé sepne kontakty COM-1, které jsou za normálních podmínek rozepnuty a rozepte kontakty COM-0, které jsou naopak při běžném chodu sepnuty. [25]

Při rozšíření měřicí soustavy o modul A3600 MEMORY, je možné data naměřená jednotkou A3900-II ukládat na PC pro pozdější analýzu.



Obr. 10) Modul A3900 [24]

### 3.5 Monitorovací systémy od firmy ifm electronic

Společnost IFM electronic poskytuje techniku rozdělitelnou do dvou kategorií – jednoduché akcelerometry s analogovým a digitálním výstupem a senzory s vyhodnocovací jednotkou VSExxx. [26]

Akcelerometry z první zmíněné kategorie monitorují celkové vibrace v souladu s normou ČSN ISO 10816-1 (*Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 1: Všeobecné směrnice*) a jsou vhodné především k detekci vibrací dynamického charakteru jako je nesouosost, nevyváženost nebo mechanické uvolnění. [26]

Senzory s vyhodnocovací jednotkou VSExxx z druhé kategorie představují systém, který umožňuje spektrální analýzu a monitoring konkrétních frekvencí, díky čemuž jsme schopni určit typ závady. [26]

#### 3.5.1 Vyhodnocovací jednotky VSE002 a VSE100

Vyhodnocovací jednotky VSE002 (Obr. 11) a VSE100 (Obr. 11) obsahují dva analogové a čtyři dynamické vstupy a dva spínací vstupy pro předběžný a hlavní poplach. [27] [28]

Do analogových vstupů se připojují analogové proudové nebo impulzní signály, které se dají využít jako vstupy rychlosti pro diagnostiku vibrací, spouštěče měření nebo se pomocí nich sledují hodnoty procesu. Analogový proudový signál je pak možné připojit i k dynamickým vstupům, čímž lze monitorovat další čtyři hodnoty procesu. K jednotkám VSE002 a VSE100 mohou být také připojeny až čtyři vibrační ifm senzory. [27] [28]

Vyhodnocovací jednotka VSE100 obsahuje oproti VSE002 navíc osm konfigurovatelných digitálních vstupů a výstupů, které jsou určeny k přepínání variant měření nebo k signalizaci vybraných alarmů. [26]



Obr. 11) Vyhodnocovací jednotky VSE002 a VSE100 [29] [30]

#### 3.5.2 Vyhodnocovací jednotky VSE150, VSE151, VSE153

Stejně jako předchozí dvě jednotky obsahují i tyto dva analogové a čtyři dynamické vstupy. Dále jsou opatřeny jedním digitálním výstupem a jedním výstupem analogovým nebo digitálním. [31]

Oproti jednotkám VSE002 a VSE100 mají tyto jednotky jedno rozhraní pro nastavení parametrů TCP/IP, které se využívá ke komunikaci mezi diagnostickou jednotkou a počítačem.



Díky této komunikaci je možné nastavovat parametry zařízení, online sledování dat, čtení historie z paměti nebo aktualizace firmwaru. [31]

Jednotky VSE150, VSE151 (Obr. 12) a VSE153 se mezi sebou liší druhem portů, které slouží ke komunikaci mezi diagnostickou jednotkou a příslušným modulem (např. PLC). Jednotka VSE150 má PROFINET IO porty, jednotka VSE151 EtherNet/IP porty a jednotka VSE153 Modbus TCP porty. K jednotlivým portům pak patří rozhraní využívané k:

- přenášení naměřených hodnot, mezních hodnot a stavů alarmů diagnostickou jednotkou do PLC
- zapisování otáčivých rychlostí a dalších hodnot z PLC do diagnostické jednotky
- omezení zápisu z PLC do diagnostické jednotky



Obr. 12) Vyhodnocovací jednotka VSE151 [32]



## 4 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH SYSTÉMŮ A EKONOMICKÉ HLEDISKO

Pro porovnání výhod a nevýhod byl od každé firmy vybrán jeden zástupce monitorovacích systémů. Od firmy SKF je to konkrétně vyhodnocovací jednotka Multilog IMx-8, od firmy ADASH šestnácti kanálový systém A3716 a za firmu ifm electronic je to vyhodnocovací jednotka VSE100.

### 4.1 SKF – Multilog IMx-8

U analyzátoru IMx-8 existuje možnost integrace s jinými jednotkami IMx, která probíhá přes lokální síť nebo internet. Stejně tak je možné tento analyzátor integrovat do výrobních informačních systémů. Pomocí IMx-8 je možné odečítat velké množství diagnostických parametrů jako jsou např. obálky vibrací, statistické parametry nebo výkon jednotlivých frekvenčních pásem. Tyto odečty jsou díky vestavěné jednotce FPGA prováděny v reálném čase. Velkou výhodou tohoto analyzátoru je možnost připojení ke cloudovým službám firmy SKF, které jsou využívány pro ukládání a sdílení dat, a především pro zavádění vzdálené diagnostiky.

Za nevýhodu by se dalo považovat složitě konfigurovatelné prostředí Aptitude Observer, přes které probíhá veškeré nastavení nebo třeba to, že monitorování vibrací probíhá ve stanovených intervalech. Při zvyšování těchto intervalů (tzv. period monitorování) jsou pak kladeny velké nároky na velikost datového úložiště.

Co se ekonomického hlediska týče, monitorovací systémy od firmy SKF patří k těm dražším. Ceny produktů této značky se mohou vyšplhat až na 700 000 Kč. Konkrétně Multilog IMx-8 ale se svou cenou 54 000 Kč spadá do levnější kategorie.

### 4.2 ADASH – A3716

Mezi výhody jednotky s označením A3716 (stejně jako mezi výhody všech ostatních jednotek od firmy ADASH) patří jednoduché nastavení systému skrz software DDS. Na rozdíl od ostatních (starších) systémů od této firmy má ale A3716 adaptivní inteligentní systém ukládání dat, který umožňuje nepřetržité monitorování stavu strojů a současně ukládání naměřených dat do firemní databáze. Tuto jednotku je také možné bez problémů začlenit do výrobních informačních systémů daných firem. Jednotlivé moduly A3716 se dají stavebnicově skládat a tím vytvářet mnohokanálové monitorovací systémy.

Cenově se ADASH monitorovací systémy orientačně pohybují v rozmezí od 19 000 Kč do 240 000 Kč. Cena jednotky A3716 se odvíjí od toho, zda je pořizována bez proudových smyček a dalších komponent, pak je její cena 188 000 Kč, nebo zda si zákazník pořizuje tuto jednotku s kompletním vybavením, pak je cena 238 000 Kč.

### 4.3 ifm electronic – VSE100

Jednotka VSE100 taktéž disponuje možností integrace do výrobních informačních sítí, tentokrát za pomoci TCP/IP protokolu. Vstupní a výstupní signály této jednotky mohou být propojeny s PLC měřených strojů, čímž se docílí automatického řízení diagnostiky. Mezi výhody

také spadá přítomnost vestavěného signálového procesoru, který umožňuje rychlé vyhodnocení naměřených údajů a signalizaci překročení předem stanovených limitních hodnot.

Co se týče nevýhod, jednotka VSE100 počítá pouze spektra, spektrální obálku a celkovou efektivní hodnotu vibrací. Ve srovnání s podobnými systémy také chybí pokročilé nástroje pro analýzu a vizualizaci dat.

Ceny monitorovacích jednotek ifm electronic se pohybují v rozmezí od 14 000 Kč do 23 000 Kč a patří tak k levnějším variantám. Za výše zmíněnou jednotku VSE100 pak zákazník zaplatí přibližně 18 000 Kč.

## 5 ZHODNOCENÍ

V bakalářské práci je věnována pozornost diagnostickým metodám. Je provedeno rozdělení těchto metod, především podle diagnostických veličin. V práci jsou tyto metody uvedeny souhrnně. Je to provedeno z toho důvodu, že v současné době se diagnostik v průmyslu potýká nejenom např. s řešením vibrací nebo teplotního stavu objektu, ale musí brát v úvahu i vliv dalších veličin. Jejich výběr záleží na druhu diagnostikovaného zařízení.

V bakalářské práci jsou zmíněny diagnostické prostředky. V dnešní době existuje v technické praxi značné množství těchto prostředků, jsou na různé kvalitativní a kvantitativní úrovni. Snahou je, aby tyto prostředky pro technickou praxi byly jednoduché, ale poskytovaly diagnostikovi co nejvíce možných informací.

Jak již bylo zmíněno, existují dva druhy diagnostických systémů. Dříve se používaly off-line diagnostické systémy. V posledních několika letech nabývají na významu i systémy on-line. Jejich rozvoj také souvisí s implementací iniciativy Průmysl 4.0 do technické praxe.

Vzhledem k zaměření bakalářské práce je podrobně a detailně popsána vibrodiagnostika a termodiagnostika. Zvláštní místo v bakalářské práci je věnováno on-line diagnostickým monitorovacím systémům se zaměřením na vibrace. Pozornost je zaměřena na systémy od firmy SKF, ADASH a ifm electronic. V práci jsou systémy od jednotlivých firem podrobněji popsány. Je třeba vyzdvihnout i rozbor a porovnání jejich parametrů.



## 6 ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na technickou diagnostiku, konkrétně na parametry a využití on-line diagnostických monitorovacích systémů. V práci jsou popsány konkrétní monitorovací systémy od několika významných firem. Je také uvedeno porovnání jednotlivých systémů i jejich ekonomické hledisko.

Bakalářská práce je řešeršního charakteru, ale je prospěšná pro rozvoj technické diagnostiky a údržby v průmyslu. Souhrnně na jednom místě uvádí některé důležité parametry a vlastnosti. On-line monitorovací systémy popisované v předkládané bakalářské práci jsou značným přínosem pro rozvoj iniciativy Průmysl 4.0. V mnohých firmách právě tato iniciativa začíná být středem pozornosti. Firmy tímto sledují zvýšení spolehlivosti a kvality výrobního procesu i vlastních výrobků. Začíná být v mnohých firmách značná poptávka na praktickou realizaci právě monitorovacích systémů a celkově na získání poznatků o stavu zařízení, především strojů. Firmy si začínají uvědomovat, že právě informace o stavu strojů mohou sloužit k rozvoji vyšších forem údržby, a tím k možnosti plánování údržby ve firmě. S tímto je spojeno i ekonomické hledisko firmy a její zisk.

Za přínosné v bakalářské práci lze považovat:

- zaměření na on-line diagnostiku a on-line diagnostické monitorovací systémy
- popis vybraných parametrů od jednotlivých firem
- porovnání jednotlivých on-line systémů z hlediska technických parametrů
- provedení stručného ekonomického rozboru zaměřeného na on-line monitorovací systémy



## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VDOLEČEK, František. *Technická diagnostika v systémech údržby* [online]. 2008 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37313.pdf>
- [2] ČERNOHORSKÝ, Jiří. *Technická diagnostika. Automa časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha, 2003 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: [http://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/technicka-diagnostika-2003\\_05\\_28810\\_1199/](http://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/technicka-diagnostika-2003_05_28810_1199/)
- [3] LEGÁT, Václav. *Management a inženýrství údržby*. Praha: Professional Publishing, 2013. ISBN 978-80-7431-119-2.
- [4] HAMMER, Miloš. *Přednášky z předmětu: Technická diagnostika (CTD)*. Vysoké učení technické v Brně, 2018
- [5] KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. *Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu*. Praha: BEN – technická literatura, 2006. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0158-6.
- [6] JANČÍK, Jaroslav a Jiří VACÁTKO. *Diagnostika v řídicích systémech*. In: *Automa časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha, 2008 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: [http://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/diagnostika-v-ridicich-systemech-2008\\_02\\_36672\\_5719/](http://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/diagnostika-v-ridicich-systemech-2008_02_36672_5719/)
- [7] HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. *Technická diagnostika a spolehlivost*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0650-9.
- [8] STODOLA, Jiří. *Vibrace a jejich využití v technické diagnostice strojů*. Brno: Vojenská akademie v Brně, 2003. ISBN 80-85960-64-8.
- [9] BILOŠ, Jan a Alena BILOŠOVÁ. *Aplikovaný mechanik jako součást týmů konstruktérů a vývojářů: studijní opora*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2012. ISBN 978-80-248-2755-1.
- [10] ČSN EN 13306. *Údržba – Terminologie údržby*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018.
- [11] HELEBRANT, František, Vlastimil MONI a Jan BLATA. *Studijní podklady: Termografie*. Ostrava, 2010.
- [12] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. Praha: BEN – technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0145-4.
- [13] HAMMER, Miloš. *Přednášky z předmětu: Technická diagnostika I (XT 1)*. Vysoké učení technické v Brně, 2018
- [14] ZATLOUKAL, Jan a Lukáš HEISIG. *On-line vibrační diagnostika obráběcích strojů*. *Automa* [online]. 2013, **2013**(8-9), 63-65 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: [http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/10619.pdf](http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10619.pdf)
- [15] *On-line systém SKF Multilog IMx-C* [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/condition-monitoring/on-line-systems/surveillance-systems/monitoring-systems/skf-multilog-on-line-system-imx-c/index.html>
- [16] SKF CZ, a.s. [online]. *SKF Multilog System IMx-C*. ©2013 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: [https://www.skf.com/binary/tcm:12-244977/0901d19680208b05-CM-P8-12959-1-EN-SKF-Multilog-IMx-C-data-sheet\\_tcm\\_12-244977.pdf](https://www.skf.com/binary/tcm:12-244977/0901d19680208b05-CM-P8-12959-1-EN-SKF-Multilog-IMx-C-data-sheet_tcm_12-244977.pdf)

- [17] SKF CZ, a.s. [online]. *SKF Multilog On-line System IMx-S*. ©2014 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.skf.com/binary/151-293117/0901d1968060138a-PUB-CM-P8-10407-5b-EN-SKF-Multilog-OLS-IMx-S-brochure.pdf>
- [18] SKF CZ, a.s. [online]. *SKF Multilog On-line System IMx-W*. ©2013 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.skf.com/binary/151-21458/0901d196800db09a-CM-P8-10674-2-EN-SKF-Multilog-IMx-W-data-sheet.pdf>
- [19] SKF CZ, a.s. [online]. *SKF Multilog On-line System IMx-8*. ©2017 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: [https://www.skf.com/binary/tcm:54-295983/0901d1968063a4d8-SKF-Multilog-On-line-System-IMx-8---17174-CS\\_tcm\\_54-295983.pdf](https://www.skf.com/binary/tcm:54-295983/0901d1968063a4d8-SKF-Multilog-On-line-System-IMx-8---17174-CS_tcm_54-295983.pdf)
- [20] A3716 – On-line monitorovací systém | Adash. *Master the Language of Your Machinery* | Adash [online]. Copyright © 2019 Adash [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://adash.com/cs/online-merici-systemy/a3716>
- [21] ADASH, spol. s. r. o. [online]. *A3716, A3800 On-line monitorovací systémy*. ©2018 [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: [https://adash.com/documents/A3800/A3716\\_A3800\\_man\\_cz.pdf](https://adash.com/documents/A3800/A3716_A3800_man_cz.pdf)
- [22] A3800 – Kompaktní on-line monitorovací systém | Adash. *Master the Language of Your Machinery* / Adash [online]. Copyright © 2019 Adash [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://adash.com/cs/online-merici-systemy/a3800>
- [23] ADASH, spol. s. r. o. [online]. *A3800*. ©2018 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://adash.com/documents/A3800/Adash-A3800-informacni-list.pdf>
- [24] A3900-II – 1kanálový online systém / Adash. *Master the Language of Your Machinery* / Adash [online]. Copyright © 2019 Adash [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://adash.com/cs/online-merici-systemy/a3900-II>
- [25] ADASH s. r. o. [online]. *A3900-II*. ©2017 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://adash.com/documents/A3900/Adash-A3900-manual-cz.pdf>
- [26] Prvky pro prediktivní údržbu strojů. *Automa* [online]. 2014, č. 6, s. 12-13 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: [http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/52405.pdf](http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/52405.pdf)
- [27] ifm electronics [online]. *Operating instructions Diagnostic electronics for vibration sensors VSE002*. ©2015 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/mounting/80226772UK.pdf>
- [28] ifm electronics [online]. *Operating instructions Diagnostic electronics for vibration sensors VSE100*. ©2018 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/mounting/80227555UK.pdf>
- [29] VSE002 – Vyhodnocovací jednotka pro vibrační senzory – ifm electronic. *ifm – automation made in Germany* [online]. Copyright © ifm electronic gmbh 2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/product/VSE002>
- [30] VSE100 – Vyhodnocovací jednotka pro vibrační senzory – ifm electronic. *ifm – automation made in Germany* [online]. Copyright © ifm electronic gmbh 2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/product/VSE100>
- [31] ifm electronics [online]. *Installation instructions Diagnostic electronics for vibration sensors VSE151*. ©2017 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/mounting/80270678UK.pdf>
- [32] VSE151 – Vyhodnocovací jednotka pro vibrační senzory – ifm electronic. *ifm – automation made in Germany* [online]. Copyright © ifm electronic gmbh 2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/product/VSE151>



## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1)	Tlakový (vlevo) a smykový (vpravo) akcelerometr [9].....	20
Obr. 2)	Snímač rychlosti [9] .....	21
Obr. 3)	Princip FFT [7] .....	21
Obr. 4)	Časový průběh vibrací – vanová křivka [7] .....	22
Obr. 5)	SKF Multilog IMx-S 16 a SKF Multilog IMx-S 32 [17] .....	26
Obr. 6)	On-line systém SKF Multilog IMx-8 [19] .....	27
Obr. 7)	Skříňka s krytím IP65 [19] .....	27
Obr. 8)	Diagnostický monitorovací systém A3716 [20] .....	29
Obr. 9)	Kompaktní on-line monitorovací systém A3800 [22] .....	30
Obr. 10)	Modul A3900 [24] .....	30
Obr. 11)	Vyhodnocovací jednotky VSE002 a VSE100 [29] [30] .....	31
Obr. 12)	Vyhodnocovací jednotka VSE151 [32] .....	32